# 주파수 대역폭 확대를 위한 다자유도계 진동기반 마이크로 에너지 수확소자의 설계

# Design of electrostatic multi-DOF energy harvester for enhanced frequency bandwidth

*유일선[1], #김종백[1], 정봉열[1], 송영섭[1]
*I. Yoo[1], #J. Kim(kimjb@yonsei.ac.kr)[1], B. Jeong[1], Y. Song[1]
[1]연세대학교 기계공학과

Key words : Energy harvester, Multi-DOF, Electrostatic energy conversion, Vibration energy

## 1. 서론

진동형 마이크로 에너지 포집 장치는 사람이나 기계장치 등 우리의 주변에서 발생되는 진동에너지를 유용한 전기에너지로 변환한다. 이러한 진동은 다양한 주파수를 가지고 있으나 현재까지 개발된 대다수의 진동형 에너지 포집 장치는 특정 단일 고유진동수에 대한 에너지 포집만이 가능하여 고효율 에너지 포집에 제한이 있다 [1]. 이를 극복하기 위한 방안으로 압전형과 전자기형 기반의 다중 주파수 에너지 포집 장치가 개발된 바 있으나 [2, 3], 각각 일반적인 MEMS 공정과의 공정 호환성이 좋지 않고 상대적으로 크기가 큰 단점이 있다. 반면, 제안하는 정전용량형은 MEMS 공정으로 제작이 가능하며 마이크로 단위의 크기로 제작이 용이하다. 외부 전압을 이용한 초기 대전이 요구되지만, 전석을 통해 초기 대전을 내부에서 가능하게 하는 반영구적 에너지 포집 장치가 제작될 수 있다 [4].

본 연구에서는 다자유도 질량-탄성체 시스템을 사용하여 다양한 주파수 영역에서 에너지를 포집할 수 있는 장치를 개발하고자 한다. 설계한 에너지 포집기에 대한 시뮬레이션을 통해 진동 특성을 파악하고, 관성 질량의 변위를 예측하여 에너지 포집에 대한 가능성을 검증한다.

## 2. 설계 및 구동원리

본 소자는 3 개의 관성 질량과 4 세트의 탄성체로 구성된 다자유도 탄성 시스템으로, 그 모식도는 그림 1 과 같다. 시뮬레이션 단계에서는 고려하지 않았으나, 각각의 관성 질량 사이에는 콤 핑거 배열

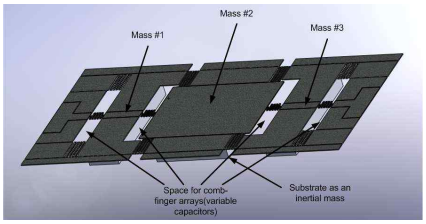


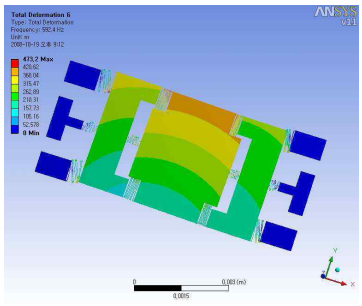

Fig. 1 Schematic view of multi-DOF electrostatic energy harvester.

이 캐패시터로 배치되고, 각 캐패시터에서 관성 질량의 운동을 통해 유도되는 시스템의 정전용량 변화를 이용하여 진동 에너지를 전기 에너지로 변환한다. 가변 캐패시터는 단일 세트의 탄성체와 같은 구획에 위치하므로, 그 개수는 탄성체 세트의 개수와 동일하다.

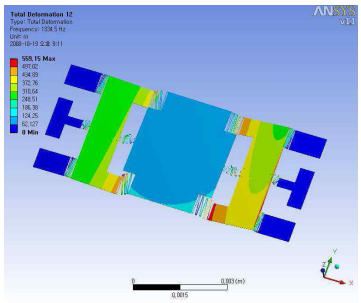
소자층은 소자의 기본 골격 구성 및 전기적 통로로 사용되며 기판의 일부는 관성 질량으로 소자층에 부착된다. 여기에서 관성 질량으로 부착된 기판의 일부는 전체 관성질량을 크게 하여 외부 진동에 대한 응답을 상대적으로 향상시켜 정전용량 변화를 증대시키는 역할을 한다. 각 캐패시터의 활성화를 위해서는 각 관성 질량 상의 소자 층을 각기 다른 전압으로 대전하는 것이 요구된다.

## 3. 시뮬레이션

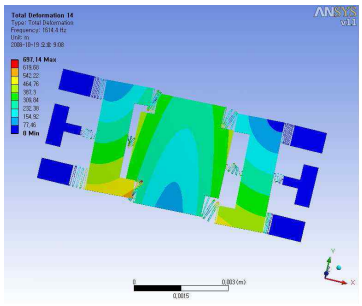
본 연구에서 설계된 다중 질량, 다자유도 에너지 수확소자의 진동 특성을 검증하기 위해 Ansys를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2 는 시뮬레이션으로 관찰된 모드 분석 결과이다. 가로



(a)



(b)



(c)

Fig. 2 Modal analysis result. (a) 1st mode at 592 Hz, (b) 2nd mode at 1334 Hz and (c) 1614 Hz.

방향(x축)으로 3 개의 모드가 592 Hz, 1334 Hz, 1614 Hz에서 형성되었다. 다른 방향에 대한 모드도 관찰되나, 본 소자에서 캐패시터로 사용된 콤 핑거 배열의 효과적인 정전용량 변화를 일으키는 변위는 가로 방향이므로, 상기된 진동 모드에서만 에너지 포집이 유효하다.

그림 3 은 1 g의 가속도를 소자에 적용하였을 때 관찰되는 각 관성 질량의 가로 방향 변위에 대한 시뮬레이션 결과이다. 모드 분석 결과와 마찬가지로 2, 3 번 모드가 나타나는 주파수에서 높은 변위가 관찰되는 것을 확인할 수 있다. 1850 Hz에서

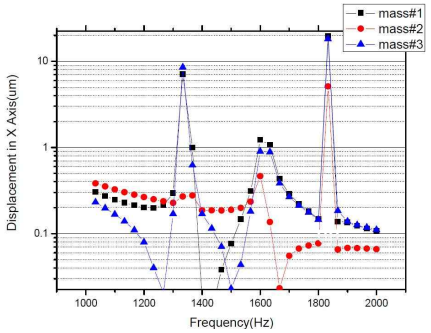



Fig. 3 Frequency response for modal displacement.

도 공진이 확인되나, 실제 모드는 무게 중심에 대해 회전하는 모드이므로, 에너지 포집에 사용되기에는 적합하지 않은 주파수이다.

## 4. 결론

본 연구에서는 주파수 대역폭 확대를 위한 다중 질량, 다자유도 에너지 포집기를 설계하였다. 이에 대한 시뮬레이션을 통해 진동 특성을 파악하였고, 다양한 주파수 영역에서 전력을 얻을 수 있는 가능성을 검증하였다.

## 후기

이 논문은 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기반형 융합녹색연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2010-0019088)

## 참고문헌

1. S. Roundy, P. K. Wright, K. S. J. Pister, "Micro-electrostatic vibration-to-electricity converter", Proc. IMECE 2002, IMECE2002-34309.
2. S. Roundy, E. S. Leland, J. Baker, E. Carleton, E. Reilly, E. Lai, B. Otis, J. M. Rabaey and P. K. Wright, "Improving Power Output for Vibration-based Energy scavenger", Pervasive computing, Vol. 4, Issue 1, pp. 28-36, 2005
3. B. Yang, C. Lee, W. Xiang, J. Xie, J. He, R. Kotlanka, S. Low and H. Feng, "Electormagnetic energy harvesting from vibrations of multiple frequencies", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 19, 035001, 2009
4. T. Sterken, P. Fiorini, K. Baert, R. Puers and G. Borghs, "An electrets-based electrostatic u-generator", Transducers 2003, pp.1291-1294